记忆、遗传与进化：Jo Nagai实验与进化机制的重构

Ernesto Mascarell Perez
Investigador independiente
mascarell1960@hotmail.com

"进化不是一场择优竞赛，而是由幸存者书写的旅行日记，铅笔由环境挥动，墨水由表观遗传提供，而有时吹散页面的风，叫做偶然。"

摘要

日本10岁学生Jo Nagai进行的实验提供了经验证据，表明蝴蝶（*Papilio xuthus*）**可以保留其在幼虫**阶段获得的记忆，并且这种习得性厌恶会传递给其后代和孙代，而无需直接接触原始刺激。这些发现目前仍在同行评审过程中，构成了鳞翅目昆虫跨代表观遗传的有力证据，并为重新审视进化论的基础提供了独特的机会。本文认为，Nagai观察到的现象不仅证实了记忆通过变态过程的存续——**挑**战了蛹期内神经系统完全重组会消除所有先前经验的观念——**而且通**过证明其向未暴露世代的传递，指向了一种表观遗传学已经开始揭示的获得性遗传机制。**本文**讨论了这些结果对理解进化的意义，提出表观遗传构成了一种快速适应环境的机制，与自然选择和遗传漂变并行运作，并且随机性和环境背景在物种生存和进化中发挥着与有机体"**适**应性"**同**样决定性的作用。

关键词： **跨代表**观遗传，变态，记忆，进化，自然选择，遗传漂变，拉马克主义，Jo Nagai

---

1. 引言

达尔文在19**世**纪提出的自然选择进化论，150**多年来一直是生物学的基石。根据**这一模型，遗传变异随机产生（通过突变和重组），环境作为一个过滤器，favorece**那些**变异在特定环境中赋予其优势的有机体的繁殖。然而，这一范式自

创立之初就受到让-**巴蒂斯特·拉**马克的获得性遗传理论的挑战，该理论认为个体一生中的经验和器官的使用或废弃可以遗传。

在20**世**纪，现代进化综合论将孟德尔遗传学与自然选择相结合，将拉马克主义归入伪科学领域。然而，**表观遗传学的**发现——DNA**和**组蛋白的化学修饰，在不改变核苷酸序列的情况下调节基因表达——**重新**唤起了环境经验可能留下可遗传印记的可能性。跨代表观遗传（TEI）**已在植物、**线虫和果蝇中得到证实，并被提出作为一种快速适应变化环境的机制。

完全变态昆虫——经历身体结构和神经系统的彻底重组——**在**这一背景下成为研究对象。2008**年**，Martha Weiss**及其合作者**证明，*Manduca sexta*飞蛾可以保留其幼虫阶段的记忆。Jo Nagai**的**实验始于他小学二年级时，**将**这一观察推进了一步：他不仅证实了*Papilio xuthus***蝴蝶的**记忆保留，还发现了习得性厌恶传递给后代和孙代的迹象。

本文从当代进化生物学的角度分析Nagai**的**发现，并主张跨代表观遗传、表型可塑性以及随机性（遗传漂变和灾难性事件）的作用，要求对主流的进化叙事进行修正。本文提出，进化不是一个"选择""**最适者"的目的**论过程，而是由环境、遗传和表观遗传以及历史偶然性持续相互作用塑造的幸存者记录。

---

2. 材料与方法

2.1. 研究对象

Jo Nagai，**日本神**户市井吹东小学的学生，**开始在家中**饲养*Papilio xuthus*（亚洲燕尾蝶）。**在**观察到从幼虫阶段饲养的蝴蝶在放飞后返回他手边后，Nagai**假**设它们可能保留了早期阶段的记忆。

2.2. 实验设计

Nagai联系了乔治城大学的昆虫学家Martha Weiss，**她于**2008**年**发表了关于飞蛾记忆保留的研究。经过数年的通信往来，Nagai**将**实验方案调整到他的家庭环境中。

约孵化了100**只幼虫**。**一**组毛虫接受厌恶条件反射：它们被暴露于薰衣草精油的香气中，同时使用便携式肌肉刺激设备施加轻微但令人不快的振动。训练每天重复三次。对照组不接受任何训练。

2.3. 记忆保留测试

羽化后，成年蝴蝶在Y**形迷**宫中接受测试。迷宫的一臂含有薰衣草香气，另一臂则没有。记录每只蝴蝶的选择。

2.4. 跨代遗传测试

Nagai饲养了训练蝴蝶的后代（子女和孙代）。这些世代从未接触过薰衣草香气或振动刺激。**他**们接受相同的Y**形迷**宫测试以评估其对香气的厌恶。

2.5. 样本量和分析

Nagai**将其**发现汇编成一份33页的文件，**并在神**户国际昆虫学大会（ICE2024）**和日本生**态学会第73**届年会**（2026年3月，**京都**）**上以**墙报形式展示，标题为 "*Epigenetic Transmission of Learned Larval Memory across Generations in Papilio xuthus*"。

---

3. 结果

3.1. 通过变态的记忆保留

对照组蝴蝶在迷宫两臂之间表现出随机选择（约50%）。**相反，80% 接受**过毛虫训练的蝴蝶避开了带有薰衣草香气的手臂。这一结果表明，尽管在变态过程中神经系统完全重组，气味与不愉快刺激之间的关联仍然保持。

3.2. 厌恶的跨代遗传

训练蝴蝶的后代——**从未接触**过薰衣草或振动——**也表**现出对气味的显著厌恶。**数据**显示跨代递减趋势：训练亲代在 **70.9% 的情况下避开薰衣草**；**子代**（**子女**）为 **64.8%**；孙代为 **60.0%**。**野生**对照组显示 **51.0% 的回避率**。

3.3. 意义

这些结果表明，亲代的厌恶经历诱导了一种可遗传的变化，使后代倾向于避开该气味，这与跨代表观遗传机制一致。Nagai和Weiss**目前正在准**备这些结果的正式发表。

---

4. 讨论

4.1. 通过变态的记忆：对经典神经生物学的挑战

80%**的蝴蝶在**变态后仍保留薰衣草厌恶的发现，挑战了蛹期内神经系统完全重组意味着所有先前记忆丧失的假设。这一结果复制并扩展了Weiss 2008**年的研究**，**表明**记忆可能不仅编码在突触连接中，还编码在表观遗传机制或通过变态持续存在的神经回路结构中。

4.2. 跨代表观遗传：重新发现的拉马克机制

厌恶向未暴露后代的传递构成了迄今为止鳞翅目跨代表观遗传的最有力证据。这一现象已在其他昆虫中得到证实，提供了一种机制，通过该机制，一代人的环境经验可以影响后代的表型。

本质上，Nagai**的**实验表明，**学习不仅是一种短暂的神经现象，而且可以留下化学（表观遗传）印记，超越个体的死亡并印刻在其后代身上**。这是拉马克主义的核心直觉，现在被表观遗传学所拯救。

然而，必须指出的是，表观遗传并不等同于严格意义上的拉马克遗传。表观遗传标记（DNA**甲基化、**组蛋白修饰、非编码RNA）**不改**变DNA**序列，而是**调节其表达。**此外，**这些标记通常是可逆的，如果环境刺激停止，往往在几代后消失。在Nagai**的**实验中，厌恶从亲代的70.9%**下降到**孙代的60.0%，**表明表**观遗传标记的逐渐"**擦除**"。**因此，表**观遗传是一种**快速可逆的适应**环境的机制，是大自然对后代将继承的环境所做的"赌注"。

4.3. 环境作为触发器和编程器

Nagai**的**结果清晰地说明了环境作为适应性反应**触发器的作用。外部刺激（与振**动相关的薰衣草香气）没有创造新的突变；它激活了一条信号通路，通过表观遗传机制改变了基因表达并产生了厌恶行为。这种反应不是随机的，而是由刺激**引导的**：环境"编程"**了基因，使其**产生一种蛋白质或修饰，从而导致回避行为。

这一发现对进化理论具有深远意义。表型可塑性——**基因型根据**环境产生不同表型的能力——**是一种适**应机制，不需要等待随机突变提供解决方案。当环境刺激作用于整个种群时，它可以同时在所有个体中诱导适应性反应，加速进化过程，而无需"**不太适**应"**的个体死亡**。

4.4. 自然选择、遗传漂变和随机性的作用

进化生物学中使用的目的论语言——"**自然**选择"**、**"**最适者生存**"**——一直受到哲学批**评。**自然并不"选择"任何东西；它没有思想、没有手指、没有偏好。**"**自然**选择"仅仅是我们给**生存偏差**起**的名字**：**那些通**过遗传、可塑性以及最重要的是**运气的**组合，成功在环境变迁中生存下来的有机体，是唯一留下后代的。

遗传漂变——等位基因频率因随机性而发生的变化——**是一个独立于适**应运作的基本进化机制。灾难性事件（小行星、火山喷发、气候突变）可以消灭整个种群，而不论任何适应性"优势"。**地球生命史由偶然性主**导：恐龙并非因适应不良而灭绝，而是因为一颗小行星。

因此，进化不是一个需要"**跨代**传递的最佳有机适应"**的**过程。它需要的是**在当前环境下足够好的适应，并且有幸不被大灾难抹去**。长颈鹿脖子更长并不比脖子更短"**更好**"；**它是*不同的*。如果气候改**变，高处的叶子消失，短脖子的（昨天还"**更差**"）**今天就成了**"**最好**"**的，**纯粹是环境巧合。

4.5. 走向扩大的进化综合

Nagai**的**发现以及表观遗传学的进展，要求修正主流的进化叙事。我们提出进化是多种机制相互作用的结果：

1. **遗传（突变和重组）： 提供**长期变异，但缓慢且随机。
2. **表观遗传： 允**许快速可逆地适应环境，传递过去经验的"记忆"。
3. **表型可塑性： 允**许有机体在无遗传变化的情况下根据环境调整其表型。
4. **遗传漂变和灾难性事件： 引入随机因素**，**可以**压倒任何适应性优势。

这种综合视野，一些作者称之为"进化的统一理论"，**承**认**环境不仅过滤，而且书写**（**通**过表观遗传学），并且**随机性与必然性同样重要**。

---

5. 结论

Jo Nagai**——一个**10岁孩子**——的**实验提供了经验证据，表明：

1. *Papilio xuthus***蝴蝶可以保留其在幼虫**阶段获得的记忆。
2. 这种习得性厌恶会传递给后代和孙代而无需直接接触，指向跨代表观遗传机制。
3. 环境作为适应性反应的触发器，这些反应可以遗传，证实了拉马克主义的核心直觉，尽管机制（表观遗传）与最初提出的不同。
4. 进化不是一个"选择最适者"**的目的**论过程，而是由遗传（基因和表观遗传）、可塑性和随机性（遗传漂变和灾难性事件）的基本组成部分相互作用塑造的幸存者记录。

这些发现对进化生物学、神经生物学和科学哲学具有深远意义。Jo Nagai**的故事表明**，**好奇心和**对细节的观察，即使在家庭环境中，也能导致挑战既定范式的发现。

致谢： 作者感谢Jo Nagai**和**Martha Weiss**博士的开**创性工作，以及通过哲学对话激发本文背后反思的用户。

利益冲突： 作者声明不存在利益冲突。

6. 参考文献

1. Blackiston, D. J., Silva Casey, E., & Weiss, M. R. (2008). Retention of Memory through Metamorphosis: Can a Moth Remember What It Learned As a Caterpillar? *PLoS ONE*, *3*(3), e1736. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001736[reference:217]
2. Nagai, J. (2024). *Memory retention and transgenerational inheritance in Papilio xuthus*. 墙报展示于国际昆虫学大会（ICE2024），神户，日本.
3. Nagai, J. (2026). *Epigenetic Transmission of Learned Larval Memory across Generations in Papilio xuthus* [墙报展示]. 日本生态学会第73届年会，京都. ESJ73 Abstract PH-048.
4. Nagai, J., & Weiss, M. R. (2026, 即将出版). Transgenerational memory retention in Papilio xuthus following larval conditioning.
5. Jablonka, E., & Lamb, M. J. (2014). *Evolution in Four Dimensions: Genetic, Epigenetic, Behavioral, and Symbolic Variation in the History of Life* (修订版). MIT Press.
6. Rothi, M. H., & Greer, E. L. (2023). From correlation to causation: The new frontier of transgenerational epigenetic inheritance. *Nature Reviews Genetics*.
7. Frontiers in Immunology (2024). Epigenetic remodeling in insect immune memory. *Frontiers in Immunology*, *15*, 1397521.
8. Ramsey, G., & Pence, C. H. (编). (2016). *Chance in Evolution*. University of Chicago Press.
9. Gregory, T. R., & Ellis, C. A. J. (2009). Beads and Dice in a Genetic Drift Exercise. *Evolution: Education and Outreach*, *2*, 692-697.